



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bereitstellung von elektrischer Energie aus einem Gleichstromspeicher, insbesondere zur Bereitstellung von Sekundenreserve-Leistung, für ein Wechselstromnetz.

U. a. zur Lösung von Stabilitätsproblemen, zur Bereitstellung der Sekundenreserve-Leistung und zum Ausgleich von Lastspitzen in einem Wechselstromnetz ist es bekannt, elektrische Energie in Form eines Gleichstroms aus einem Gleichstromspeicher abzuführen und diese wechselgerichtet und -transformiert in das Wechselstromnetz einzuspeisen. Der ursprünglich von einem Generator erzeugte Wechselstrom wird hierbei zunächst aus dem Wechselstromnetz entnommen und über einen Stromrichter-Transformator und einen Stromrichter, der jetzt als Gleichrichter wirkt, als Gleichstrom dem Speicher zugeführt. Die im Gleichstromspeicher gespeicherte elektrische Energie wird bedarfsweise in umgekehrter Richtung über den Stromrichter, der jetzt als Wechselrichter wirkt, und den Stromrichter-Transformator wieder an das Netz abgegeben. Diese Vorgehensweise ist mit Wirkungsgradverlusten verbunden, da sowohl bei der Speicherung als auch bei der Abgabe der gespeicherten elektrischen Energie der Stromrichter-Transformator und der Stromrichter durchlaufen werden.

Ein weiterer Nachteil dieser Art der Bereitstellung von elektrischer Speicherenergie ist es, daß der Stromrichter-Transformator und der Stromrichter nur während relativ kurzer Zeiten unter Last betrieben werden, und zwar nur dann, wenn der Speicher aufgeladen wird oder wenn der Speicher die gespeicherte elektrische Energie an das Netz abgibt. Während der gesamten übrigen Zeit werden der Stromrichter-Transformator und der Stromrichter im Leerlauf vom Wechselstromnetz betrieben, wobei erhebliche Umwandlungsverluste auftreten.

Dieser Nachteil kann durch einen notwendigerweise mechanischen Leistungsschalter behoben werden, der zwischen dem Wechselstromnetz und dem Stromrichter-Transformator angeordnet ist. Dann eignet sich diese Schaltung jedoch nur eingeschränkt zur Bereitstellung der wichtigen Sekundenreserve-Leistung für das Wechselstromnetz, da die im Gleichstromspeicher gespeicherte elektrische Energie aufgrund der großen Zeitkonstante des mechanischen Schalters zu stark verzögert in das Wechselstromnetz eingespeist wird.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung anzugeben, die es erlauben, daß die Bereitstellung von elektrischer Energie aus einem Gleichstromspeicher innerhalb kürzester Zeit unter dem Gesichtspunkt der Bereitstellung von Sekundenreserve-Leistung und mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad erfolgt.

Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß der von einem vom Wechselstromnetz unabhängigen Gleichstromerzeuger erzeugte Gleichstrom bedarfsweise dem Gleichstromspeicher zugeführt und dort gespeichert wird, sowie bedarfsweise vom Gleichstromspeicher abgezogen und wechselstromgerichtet und -transformiert in das Wechselstromnetz eingespeist wird. Hierdurch erfährt der erzeugte Gleichstrom bei der Speicherung keine Umwandlungsverluste durch einen Stromrichter-Transformator und einen Stromrichter.

Bezüglich der Einrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zwischen dem Gleichstromerzeuger und dem Wechselstromnetz in der genannten Reihenfolge ein leistungselektronischer Schalter, ein Stromrichter und ein Stromrichter-Transformator geschaltet sind, wobei zwischen dem Schalter und dem Stromrichter eine Abzweigung zu dem Gleichstromspeicher vorgesehen ist, die mittels eines Schaltelementes in beiden Richtungen betreibbar ist. Hierdurch wird während der überwiegenden Zeit der vom Gleichstromerzeuger erzeugte Gleichstrom über den Stromrichter und den Stromrichter-Transformator in das Wechselstromnetz eingespeist. Wichtiger ist jedoch, daß der erzeugte Gleichstrom bei Bedarf mittels geeigneter Stellung des Schaltelementes dem Gleichstromspeicher ohne Umwandlungsverluste zugeführt wird und daß bei Bedarf mittels geeigneter anderer Stellung des Schaltelementes die gespeicherte elektrische Energie über denselben Stromrichter und Stromrichter-Transformator in das Netz eingespeist wird. Hierbei wird der Stromrichter-Transformator und der Stromrichter vom Wechselstromnetz nur dann im Leerlauf betrieben, wenn der erzeugte Gleichstrom dem Gleichstromspeicher zugeführt wird. Darüber hinaus sind der Schalter und das Schaltelement auf der Gleichstromseite der Einrichtung angeordnet, wodurch schnelle, leistungselektronische Bauelemente einsetzbar sind.

In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann der Gleichstromerzeuger ein Brennstoffzellen-Kraftwerk sein. Hierdurch kann gleichstromseitig eine elektrische Leistung von dem kontinuierlich arbeitenden Brennstoffzellen-Kraftwerk mit einem hohen elektrischen Netto-Wirkungsgrad bereitgestellt werden.

Alternativ kann auch als Gleichstromerzeuger ein gegenüber dem Brennstoffzellen-Kraftwerk ökologisch noch vorteilhafteres, aber im Wirkungsgrad derzeit ungünstigeres Photovoltaik-Kraftwerk verwendet sein.

Als Gleichstromspeicher mit einem sehr hohen Speicherwirkungsgrad kann ein supraleitender magnetischer Energiespeicher (SMES) verwendet sein. Der Speicherwirkungsgrad eines SMES liegt deutlich über dem Speicherwirkungsgrad üblicher Batteriespeicher, die jedoch aufgrund der Unabhängigkeit von einer externen Kältemittelversorgung noch betriebssicherer sind als der SMES.

In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung kann das Schaltelement zwei Thyristorbaugruppen umfassen, deren jeweilige Durchlaßrichtungen zueinander gegenseitig geschaltet sind und die separat ansteuerbar sind. Hierdurch ist einerseits die zum Gleichstromspeicher hin- und vom Gleichstromspeicher abfließende elektrische Energie leicht regelbar. Andererseits ertüchtigt die Verwendung von Thyristoren diesen Schaltungsaufbau aufgrund der kleinen Zeitkonstanten der Thyristoren dazu als Sekundenreserve für das Wechselstromnetz verwendet werden zu können. Außerdem arbeitet der Stromrichter fast ständig in Wechselrichterbetrieb (niemals im Gleichrichterbetrieb), wodurch die Steuerzeiten des Stromrichters bei Sekundenreserve-Anforderungen erheblich verkürzt sind.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Figur näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein vereinfachtes Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Bereitstellung von elektrischer Energie aus einem Gleichstromspeicher.

In der Fig. 1 ist in einem vereinfachten Blockschaltbild eine Einrichtung 1 zur Bereitstellung von elektrischer Energie aus einem Gleichstromspeicher 2 dargestellt. Hierbei ist eine Gleichstromschiene 4 über einen

Stromrichter 6 und einen Stromrichter-Transformator 8 mit einem Wechselstromnetz 10 verbunden. An die Gleichstromschiene 4 sind ein Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 über eine Thyristorbaugruppe 14 sowie der Gleichstromspeicher — hier ein supraleitender magnetischer Energiespeicher (SMES) 2 — über ein Schaltelement 16 parallel zueinander angeschlossen. An dem Wechselstromnetz 10 ist mindestens ein Wechselstrom-generator 18 über einen Blocktransformator 20 angeschlossen.

Der Wechselstromgenerator 18 speist den erzeugten Wechselstrom über den Blocktransformator 20 in das Wechselstromnetz 10 ein. Das Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 hat im Ausführungsbeispiel eine Leistung von 10 MW und einen elektrischen Brutto-Wirkungsgrad von 50%. Die elektrische Leistung des Brennstoffzellen-Kraftwerks 12 wird zunächst nahezu verlustfrei über die Thyristorbaugruppe 14 auf die Gleichstromschiene 4 übertragen und wird von dort verlustbehaftet über den Stromrichter 6 und den Stromrichter-Transformator 8 in das Wechselstromnetz 10 eingespeist. Die Umwandlungsverluste sind hierbei durch den im Ausführungsbeispiel angenommenen Wirkungsgrad des Stromrichters von 90% und des Stromrichter-Transformators von 98% bedingt. Hierdurch ergibt sich immer noch ein vorteilhafter elektrischer Netto-Wirkungsgrad von 44% für die vom Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 an das Wechselstromnetz 10 gelieferte elektrische Leistung.

Zur bedarfsweisen Speicherung von elektrischer Energie wird die Thyristorbaugruppe 22 des Schaltelements 16 in Durchlaß geschaltet, so daß der vom Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 erzeugte Gleichstrom nahezu ohne Verluste in den SMES 2 fließt. Der SMES 2 besitzt im Ausführungsbeispiel eine Speicherkapazität von 2,3 MWh und eine elektrische Leistung von 125 MW und erreicht einen Speicherwirkungsgrad von 95%. Hierdurch beläuft sich in diesem Ausführungsbeispiel die Zeit zur Volladung des SMES 2 — ausgehend vom leeren SMES 2 — auf knapp 14 min. Nur während dieser geringen Zeit wird der Stromrichter-Transformator 8 im Leerlauf am Wechselstromnetz 10 betrieben und der Stromrichter befindet sich im Sperrzustand.

Bei Anforderung der Sekundenreserve-Leistung oder zum Ausgleich von Stabilitätsproblemen im Wechselstromnetz kann die im SMES 2 mit einem hohen Wirkungsgrad gespeicherte Energie nach dem Durchschalten der Thyristorbaugruppe 24 des Schaltelements 16 über den Stromrichter 6 und den Stromrichter-Transformator 8 an das Wechselstromnetz 10 abgegeben werden. Hierdurch wird die vom Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 indirekt über den SMES 2 an das Wechselstromnetz 10 abgegebene elektrische Leistung mit einem elektrischen Netto-Wirkungsgrad von 42% eingespeist. Diese 42% errechnen sich aus einem Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Kraftwerkes 12 von 50%, des SMES 2 von 95%, des Stromrichters 6 von 90% und des Stromrichter-Transformators 8 von 98%.

Aufgrund der in dem Schaltelement 16 verwendeten Thyristorbaugruppen 22, 24, die Zeitkonstanten im Bereich einiger Millisekunden besitzen, eignet sich die in Fig. 1 gezeigte Einrichtung 1 besonders zur Bereitstellung der Sekundenreserve-Leistung für das Wechselstromnetz 10.

Alternativ zu dem im Ausführungsbeispiel verwendeten SMES 2 könnte ebenso ein Batteriespeicher verwendet werden, wobei der Wirkungsgrad des Batteriespeichers mit etwa 80% anzunehmen ist. Die von dem Brennstoffzellen-Kraftwerk 12 indirekt über den Batte-

riespeicher an das Netz abgegebene elektrische Energie wird dann mit einem elektrischen Netto-Wirkungsgrad von etwa 35% in das Wechselstromnetz 10 eingespeist. Die von einem Wechselstromgenerator indirekt über einen Gleichstromspeicher an das Wechselstromnetz 10 abgegebene elektrische Energie würde mit einem deutlich geringeren Netto-Wirkungsgrad in das Wechselstromnetz 10 eingespeist, da sowohl auf dem Weg zu dem Gleichstromspeicher als auf dem Weg vom Gleichstromspeicher ein Stromrichter und ein Stromrichter-Transformator durchlaufen werden müssen.

Ausgehend von einem Netto-Wirkungsgrad eines modernen Dampfkraftwerkes von 38% würde sich dann unter Zugrundelegung der vorgenannten Bauelemente und ihrer Wirkungsgrade ein elektrischer Gesamtwirkungsgrad für die indirekt über den Gleichstromspeicher abgegebene elektrische Energie im Fall eines SMES von nur 28% und im Falle eines Batteriespeichers mit einem Speicherwirkungsgrad von 80% von nur noch 24% ergeben. Selbst bei der hypothetischen Annahme, daß das moderne Dampfkraftwerk einen Netto-Wirkungsgrad von 50% wie das im Ausführungsbeispiel gewählte Brennstoffzellen-Kraftwerk hätte, ergäbe sich immer noch bei der Einspeisung der elektrischen Energie aus dem Wechselstromnetz in dem Gleichstromspeicher ein Gesamtwirkungsgrad von nur 37% für den SMES und von nur 31% für den Batteriespeicher.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bereitstellung von elektrischer Energie aus einem Gleichstromspeicher, insbesondere zur Bereitstellung von Sekundenreserve-Leistung, für ein Wechselstromnetz, bei dem der von einem vom Wechselstromnetz unabhängigen Gleichstromerzeuger erzeugte Gleichstrom bedarfsweise dem Gleichstromspeicher (2) zugeführt und dort gespeichert wird sowie bedarfsweise vom Gleichstromspeicher (2) abgezogen und wechselstromgerichtet und -transformiert in das Wechselstromnetz (10) eingespeist wird.
2. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Gleichstromerzeuger (12) und dem Wechselstromnetz (10) in der genannten Reihenfolge ein leistungselektronischer Schalter (14), ein Stromrichter (6) und ein Stromrichter-Transformator (8) geschaltet sind, wobei zwischen dem Schalter (14) und dem Stromrichter (6) eine Abzweigung zu dem Gleichstromspeicher (2) vorgesehen ist, die mittels eines Schaltelementes (16) in beiden Richtungen betreibbar ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichstromerzeuger ein Brennstoffzellen-Kraftwerk (12) ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichstromerzeuger ein Photovoltaik-Kraftwerk ist.
5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schalter (14) eine Thyristorbaugruppe ist.
6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichstromspeicher ein supraleitender magnetischer Energiespeicher (2) ist.
7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichstromspei-

cher ein Batteriespeicher ist.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaltelement (16) zwei Thyristorbaugruppen (22, 24) umfaßt, deren jeweilige Durchlaßrichtung zueinander gegen-

sinnig geschaltet und die separat ansteuerbar sind.  
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromrichter (6) ein Wechselrichter ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

**BEST AVAILABLE COPY**

